Mittuniversitetet
MID SWEDEN UNIVERSITY

Biokol

Förutsättningar för tillverkning av biokol genom pyrolys i Falu Energi och Vattens verksamhet.

Ola Nyberg



Självständigt arbete
Huvudområde: Miljövetenskap
Högskolepoäng: 15 hp
Termin/år: VT 2019
Handledare: Henrik Haller
Examinator: Erik Grönlund
Kurskod/registreringsnummer: MX004G
Utbildningsprogram: Ekoentreprenör för hållbar utveckling

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Sammanfattning

Biokol har potential att höja markens pH samt kan stabilisera tungmetaller. Dessutom kan biokol som grävs ner bidra till minskad koldioxidhalt i atmosfären. Andra användningsområden för biokol är bland annat i jordbruket för ökade skördar och som filtermaterial. Moderna pyrolysutrustningar kan tillverka biokol och omvandla överskottsenergin för tillverkning av fjärrvärme eller el. Detta medför att rökgaser tas omhand och utsläppen från processen renas. Certifiering enligt European Biochar Certificate medför att hållbar produktion av biokol säkras. Certifieringen innebär regleringar gällande hela processen från råvara till slutlig produkt.

De restflöden som Falu Energi och Vatten skulle kunna producera biokol av idag är av trädgårdsavfallet. Fraktionen är ca 1500 ton och kan förväntas möjliggöra produktion av 365–420 ton biokol/år. Biokolet som framställs av dessa fraktioner förväntas kunna certifieras. Dock kommer förbehandling av fraktionerna krävas och det är viktigt att den görs på ett hållbart sätt. Fraktionen Bark har i denna undersökning inte klarat kraven för att tillverka biokol av, då barken bildar pålagring i reaktorn som den studerade utrustningen inte klarar. Avloppsslammet klarar kraven från pyrolystekniken, men fraktionen innehåller höga halter av tungmetaller samt är inte godkänd för certifiering.

Att arbeta med biokolsproduktion i Falu Energi och Vattens verksamhet har potential att bidra till uppfyllandet av Agenda 2030 och de svenska miljömålen. De delar som rapporten berör är råvaror, pyrolysteknik och användningsområden. Utöver detta berörs även vilka potentiella vinster samt utmaningar som finns med integrering av biokolstillverkning i Falu Energi och Vattens verksamhet.

Abstract

Biochar has the potential to raise soil pH and stabilize heavy metals. In addition, biochars that are dug down can contribute to reduced carbon dioxide content in the atmosphere. Other uses of biochar include agriculture for increased yields and as filter materials. Modern pyrolysis equipment can produce biochar and convert the excess energy for the production of district heating or electricity. This causes waste gases to be taken care of and emissions from the process purified. Certification according to the European Biochar certificate means that sustainable production of biochar is secured. The certification involves regulations regarding the entire process from raw material to final product.

The material that Falu Energi och Vatten could produce biochar of today are the garden waste. The fraction is about 1500 tons and can be expected to enable production of 365 – 420 tonnes of biochar/year. Biochar produced by these fractions is expected to manage certification specifications. However, the pre-treatment of the factions will be required, and it is important that it is done in a sustainable manner. The fraction Bark has in this study not passed the requirements to produce biochar of, when the Bark forms the retention in the reactor that the studied equipment is not capable of. The sewage sludge meets the requirements of the pyrolysis teknik but the fraction contains high levels of heavy metals and is not approved for certification.

Working with biofuel production in Falu Energi och Vattens activities has the potential to contribute to the fulfilment of Agenda 2030 and the Swedish environmental objectives. The parts covered by the report are raw materials, pyrolysis Teknik and applications. In addition to this, the potential benefits and challenges of integrating biochar production into Falu Energi och Vattens activities are also included.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 1
Abstract 2
Innehållsförteckning 3
1. Inledning 5
1.1 Syfte 6
1.1.2 Frågeställningar 6
2. Faluns förutsättningar för implementering av biokolsteknik samt för sammanhanget relevanta aspekter av biokolframställning och användning 7
2.1 Falu Energi och Vatten 7
2.1.1 Vattenreningsverk 7
2.1.2 Energiproduktion 7
2.1.3 Avloppsrening 8
2.1.4 Slamhantering 8
2.2 Markförutsättning i Dalarna och historiska utsläpp från Falu koppargruva 8
2.2.1 Markförutsättningar i Dalarna 8
2.2.2 Förutsättningar på grund av historiska utsläpp av svavel i Falun 9
2.2.3 Förutsättningar på grund av historiska utsläpp av tungmetaller i Falun 9
2.3 Svenska miljökrav och lagstiftning i EU för användning av biokol 9
2.4 Biokolsframställning genom pyrolys 10
2.5 Biokolets användningsområden 10
2.5.1 Jordförbättrande egenskaper 10
2.5.2 Stabiliserande egenskaper 11
2.5.3 Koldioxidsänka och minskade utsläpp 11
2.6 Certifiering för hållbar biokolsframställning 12
2.6.1 Krav på råvara 12
2.6.2 Produktion (Pyrolys) 13
2.6.3 Biokolets egenskaper 13
3. Metod och material 14
3.1 Litteratursökning 14
3.2 Datainsamling 14
3.3 Avgränsningar 14
4. Resultat 16
4.1 Lämpliga Råvaror för biokolsproduktion från Falu Energi och Vatten 16

4.1.1Egenskaper för Falu Energi och Vattens råvaror 17
4.1.2 Metallinnehåll råvara Falu Energi och Vatten 17
4.2 Ändamålsenlig pyrolysteknik för Falu Energi och Vattens råvaror 18
4.2.1 Pyreg P1500 18
4.2.2 BioGreen 750L8... 19
4.3 Biokolets potential att bidra till ekonomiska vinster 19
4.3.1 Biokolets potential att bidra till hållbarhetsvinster 20
4.4 Resultatets osäkerheter.. 20
5. Diskussion 22
6. Slutsats 25
7. Källor.. 26

1. Inledning

Redan nu har påverkan av ekosystem på grund av den globala uppvärmningen observerats både på land- och i havsekosystem. Utsläppen av växthusgaser behöver minskas och dessutom behövs aktivt arbete med att binda kol (C)[1] i marken för att minska koldioxidhalten i atmosfären (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2018). För att nå våra globala hållbarhetsmål i Agenda 2030 där ekosystem och biologisk mångfald är ett av de 17 globala målen krävs kraftfulla åtgärder. Om inga åtgärder görs kommer klimatförändringarna dessutom belasta den globala ekonomin så mycket att den varje år sjunker 5 % till 20 %. Kostnaden för att agera för att avvärja klimatförändringarna bedöms vara betydligt mindre och uppskattas till 1% av BNP per år (Stern 2007). Detta är en tydlig indikation på att det är ekonomiskt försvarbart att arbeta med projekt som binder kol i marken. Biokol har potential att vara en lösning för både energiframställning, kollagring och ekosystemfunktioner (Biederman & Harpole 2012). Pyrolys av bioråvara är en av de CDR-tekniker (Carbon Dioxide Removal Technology) som nämns ha potential att minska koldioxidhalten i atmosfären i IPCC:s senaste rapport (IPCC 2018). Biokol har potential att bidra till uppfyllnad av de svenska miljömålen och Agenda 2030 då biokol visats vara en hållbar lösning för energiframställning, kollagring och ekosystemfunktioner (Biederman & Harpole 2012).

Redan när Carl von Linné var ute på sin dalaresa på 1700-talet dokumenterade han hur bönderna använde kol blandat med boskapens urin som jordförbättring i jordbruket (Avfall Sverige 2018). Kol har också använts vid driften av Falu koppargruva och därigenom har kolet spelat en viktig roll i Dalarna historiskt.

Biokol tillverkas genom pyrolys av biomassa och produkten har hög kolhalt (C). Produktion av biokol sker med modern pyrolysteknik för att rökgaser och överskottsvärme från processen kan användas för el och fjärrvärmeproduktion, vilket innebär att kolet inte förorenas av rökgaser och bioolja i produktionen.

När biokolet grävs ner i marken tar det lång tid för kolet (C) att brytas ner och det medför att förfarandet bidrar till att minska halten CO_2 i atmosfären. Biokol har dessutom visat sig ha flera andra positiva egenskaper i jordbruket och stadsodlingar (Lehmann & Joseph 2015). När det appliceras i odlingsjordar bidrar biokolet till att växternas produktivitet ökar och läckaget av näringsämnen från jorden minskar (Biederman & Harpole 2012). Biokolets egenskaper innebär även att det binder tungmetaller och organiska föroreningar och stabiliserar dem, vilket gör att det kan användas för att skydda grundvatten och grödor (Expert Group for Technical Advice on Organic Production (EGTOP) 2018). Eftersom gruvdriften påverkat och fortfarande påverkar områdena runt gruvan i Falun med läckage av tungmetaller är denna egenskap av speciellt intresse för Falun.

Denna rapport har kopplats till Falu Energi och Vatten (FEV) och deras möjligheter att framställa biokol av sina befintliga flöden. Det är Falu Energi och Vatten som ansvarar för el, elnät, fjärrvärme, fjärrkyla, kraftproduktion, stadsnät, återvinning samt vatten och avlopp i Falu kommun.

[1] När grundämnet kol avses i denna text följs det av ett (C). Kol utan (C) avser biokol.

1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att beskriva hur en pyrolysanläggning kan fungera med Falu Energi och Vattens unika förutsättningar och befintliga flöden.

1.1.2 Frågeställningar

Det behöver utredas hur en pyrolysanläggning skulle fungera med de flöden som finns i Falu Energi och Vattens verksamhet. Följande frågeställningar har valts ut och studerats för att öka kunskapen om pyrolys, biokolets egenskaper och användningsområden.

- Vilka råvaror inom Falu Energi och Vattens verksamhet går att göra biokol av?
- Vilken typ av pyrolysteknik skulle fungera för Falu Energi och Vattens råvaror för att få fram ett biokol utan miljögifter som även kan certifieras?
- Vilka potentiella vinster finns med att integrera en biokolsanläggning i Falu Energi och Vattens verksamhet?

2. Faluns förutsättningar för implementering av biokolsteknik samt för sammanhanget relevanta aspekter av biokolframställning och användning

2.1 Falu Energi och Vatten

2.1.1 Vattenreningsverk

Företaget har uppdraget för vattenförsörjningen i kommunen. Falu Energi och Vatten kommer fokusera på dricksvattenförsörjningen kommande år för att säkra tillgången runt om i kommunen. Faluns dricksvatten kommer sedan två år tillbaka från Lennheden utanför Borlänge och produceras i Falun och Borlänges gemensamma vattenverk (Falu Energi och Vatten (FEV) 2019).

2.1.2 Energiproduktion

Falu Energi och Vatten driver fjärrvärmesystemet i kommunen och har även en sammankoppling till Borlänge kommun för att utöka flexibiliteten. I Borlänge är det framförallt Kvarnsvedens pappersbruk (Mekaniskt massabruk) som periodvis har mycket värme de kan sälja som fjärrvärme där även SSAB är en viktig aktör. I Falu kommun är det Arctic paper i Grycksbo som är en av de större industrierna vilken skulle kunna bidra till fjärrvärmeproduktion, de är dock inte inkopplade till något fjärrvärmenät idag. När Falu Energi och Vatten planerar hur de skall köpa in energi söker de efter marknadens mest prisvärda lösning, de tillverkar även pellets som säljs på den öppna marknaden. Falu Energi och Vattens elproduktion kommer från vindkraft, vattenkraft och förbränning av biomassa. De har också en fjärrkylanläggning. De energibärare de använder sig av är vatten och el. Idag är Falu Energi och Vatten 95–99% fossilfria i sin produktion av fjärrvärme. De senaste 5 åren (2014–2018) har i snitt 1700 ton CO_2 släppts ut från fossila bränslen från fjärrvärmeproduktionen. Den fossila del de använder är framförallt vid uppstart av pannorna efter stillestånd samt som spets vid låga utomhustemperaturer. Kraftvärmen använder främst restprodukter från skogen som sågspån, bark och grenar och toppar (GROT) men också en del returträ eldas i en av pannorna. De askor som blir kvar efter förbränning läggs på gamla deponin som täckmaterial. Det återförs till viss del även askor till skogen (FEV 2019).

Inom Falu Energi och Vattens verksamhet ligger även uppdraget att ta hand om kommuninvånarnas hushållsavfall. Hantering av matavfall sker genom att den skickas till Borlänge för att produktion av slam som sedan rötas och blir biogas. Även Falu kommuns hushållsavfall skickas till Borlänge och eldas upp i Borlänges kraftvärmeverk och blir till elektricitet och fjärrvärme (FEV 2019). EcoDataCenter har nyligen etablerat sin verksamhet i Falun. De driver ett datacenter som behöver ventilera ut varmluft för att de elektroniska komponenterna inte skall skadas. Denna värme används idag av Falu Energi och Vattens pelletsproduktion där råvaran torkas innan pelletstillverkningen. De har ambitioner att utveckla sin verksamhet och därmed kommer mer värme att produceras (EcoDataCenter 2019).

2.1.3 Avloppsrening

Falu Energi och Vatten sköter åtta avloppsreningsverk i kommunen. Det största ligger i Främby strax utanför Faluns centrum och tar hand om majoriteten av avloppsvattnet. Detta reningsverk är gammalt och delvis underdimensionerat och skall därför byggas om inom en snar framtid. Förundersökning pågår i syfte att utreda på vilket sätt de skall lösa uppgiften för att klara av de hårdare krav som väntas framöver. Idag hanteras avloppsslammet i reningsverket genom mekanisk och kemisk rening. Av slammet som avskiljs tillverkas biogas genom rötning. Problem finns idag i anläggningen vilket medför att motorn som skulle tillverkat el av rötgasen inte fungerar och ny lösning måste på plats innan gasen kan användas på ett bra sätt. För att minska utsläppen av växthusgaser eldas gasen i stället för utsläpp av metan blir det koldioxid som inte är en lika aggressiv växthusgas (FEV 2019).

Utifrån den nya avloppsförordningen i Tyskland (2017) ställs nu krav på att de stora reningsverken skall förbereda sina anläggningar för fosforåtervinning (von Bahr, Kärrman, Lundin & Rodhe 2017). Nationellt har Naturvårdsverket (2013) lagt fram ett förslag till regeringen angående hållbar återföring av fosfor. Förslaget innebar ökade ambitioner för återföring av fosfor från slam där målsättningen skulle vara att minst 40% av fosforn skall återföras. Dessutom föreslås skärpta gränsvärden för ett antal olika ämnen, framförallt tungmetaller och även gränsvärden för tillförsel till åkermark (von Bahr et al. 2017). Regeringen har i skrivande stund (maj 2019) inte föreslagit riksdagen några lagändringar. Detta måste dock beaktas i förstudien för att bygga ett nytt reningsverk (FEV 2019). Specifika utmaningar finns på grund av bland annat den historiska gruvverksamheten som fortsatt påverkar kvaliteten på avloppsvattnet på grund av bland annat inläckage av tungmetaller till avloppsledningsnätet.

2.1.4 Slamhantering

Falu Energi och Vatten hanterar idag sitt avloppsslam genom att använda den som täckmaterial på den gamla stängda deponin. Snart kommer deponin att vara sluttäckt och därmed kommer slammet från reningsverket att behöva tas omhand på annat sätt. Det medför kostnader och därför vill de utreda möjliga lösningar. Utmaningarna i Falun beror på höga halter av bly, zink och koppar i slammet vilket medför att det inte kan appliceras på jordbruksmark, utan deponeras idag. Detta medför att fosfor inte återförs i dagsläget (FEV 2019). Inga av Falu Energi och Vattens reningsverk är certifierade enligt Revaq vilket medför att slammet inte får spridas på svensk åkermark (Svenskt vatten 2018). Revaq är ett certifieringssystem där man arbetar med att förbättra kvaliteten på slammet genom uppströmsarbete (Jordbruksverket 2018). Slammet hanteras idag genom strängkompostering där träflis blandas in sedan vänds materialet och fukthalten kontrolleras för att minska utsläpp. När komposteringssteget är klart hygieniseras (vilar) materialet på en slamplatta i 1 år (FEV 2019).

2.2 Markförutsättning i Dalarna och historiska utsläpp från Falu koppargruva

2.2.1 Markförutsättningar i Dalarna

Dalarna är ett skogslän där ca 70% av markytan i länet är produktiv skogsmark. Andelen åkermark var 2015 ca 3% vilket är lågt jämfört med snittet i Sverige som var ca 6,9%. Åkermarken är uppdelad i ca 79 ha åkermark och ca 13 ha naturbetesmarker (Riksskogstaxeringen 2015). Trenden i Dalarna är att

åkermark bebyggs och därmed minskar den redan låga andelen kontinuerligt (Länsstyrelsen Dalarna 2013). På grund av klimatförändringarna kommer produktionen av livsmedel att försvåras i vissa delar av världen. Därför är det angeläget att ta vara på möjligheterna att producera livsmedel där förutsättningarna är goda och nationellt finns ett mål att öka livsmedelsproduktionen (Regeringskansliet Näringsdepartementet 2016/2017).

2.2.2 Förutsättningar på grund av historiska utsläpp av svavel i Falun

Redan under vikingatiden tros kopparbrytning ha ägt rum i Falun. Koppargruvans storhetstid var på 1600-talet och kulminerade 1650. Då stod Falun för 2/3 av världsproduktionen av koppar och Falu koppargruva var den största arbetsgivaren i Sverige (Bernes & Lundgren 2009). Malmen som bröts i Falukoppargruva innehöll ca 30% svavel och bara några få procent koppar. Malmen rostades och då övergick svavlet till gasform i form av svaveldioxid som fortfarande påverkar i stor utsträckning både mark och vatten i närheten till Falun (Ibid). Svaveldioxidutsläppen beräknades till 40 000 ton/år när gruvan producerade som mest och sammanlagt släpptes ca. 6 miljoner ton svaveldioxid ut (Bernes & Lundgren 2009). Närområdet till Falu gruva är idag kraftigt försurad ner till ca 1 meters djup. En del av sjöarna i närheten är även de försurade och har inte visat några tecken på återhämtning. Det förekommer idag sparsamt med markvegetation (lavar, mossor, lingonris) i närhet av gruvområdet. Detta beror bland annat på de höga metallhalterna hämmar förmultningsprocesserna vilket reducerar frigörelsen av näring från dött organiskt material. Att marken är försurad bidrar även det till den sparsamma markvegetationen (Ibid).

2.2.3 Förutsättningar på grund av historiska utsläpp av tungmetaller i Falun

Tusen års gruvdrift har medfört utsläpp av 0,5–1 miljon ton partikelburna metaller i form av koppar, bly, zink och kadmium. Blyhalterna i närheten till gruvan är idag 700 mg/kgTS (Falu kommun 2018). Detta kan jämföras med Naturvårdsverkets riktvärden för känslig markanvändning vars riktvärde är 50 mg/kgTS för att klassas som förorenad mark (Naturvårdsverket 2016). Det har genomförts efterbehandlingsåtgärder av lämningar från Falu gruva för att minska läckage av tungmetaller från gruvområdet framförallt i Falu-projektet som genomfördes 1992–2008. På grund av att mer än 7 miljoner m^3 gruvavfall i Falun läcker varav hälften är slagg (Hanæus & Ledin 2010). Läckaget från anrikningssand och kisbränder är generellt mer zinkrikt och kommer mestadels från det moderna gruvavfallet. Slagg och varp kommer från det äldre gruvavfallet och är mer rikt på koppar (Ibid).

2.3 Svenska miljökrav och lagstiftning i EU för användning av biokol

Biokol är inte godkänt av KRAV i Sverige på grund av att biokol inte är godkänt på EU-nivå inom ekologisk odling. Biokol är därmed inte heller godkänt i ekologisk odling i Sverige (Avfall Sverige 2018). Svensk lagstiftning gäller i övrigt vilket innebär att försiktighetsprincipen i Miljöbalken 2 Kap. 3§ gäller för användandet av biokol. Den innebär att den som använder biokol skall vidta försiktighet för att undvika att användningen orsakar skada på miljö eller människa (SFS 1998:808). Schweiz har inkluderat biokol som gödselmedel vilket godkänts i ekologisk produktion. Endast kommersiella produkter vilka är

godkända enligt den allmänna lagstiftningen får användas. Detta innebär att produkten skall vara certifierad enligt European Biochar Certificate (EBC 2012).

EU:s expertgrupp för teknisk rådgivning om ekologisk produktion är inte bekymrade över andra främmande ämnen än PAH under förutsättning att växter eller obehandlat virke används som råmaterial för produktion av biokol. Biokol med ursprung från animalier eller avfallsprodukter undantas från EU:s utvärdering som bedömer om biokol är lämpligt att använda i ekologiskt jordbruk eller konventionellt jordbruk. De anser att om andra material, exempelvis kommunalt avfall och avloppsslam, används kan andra föroreningar förekomma t.ex. tungmetaller, dioxiner och PCB. Enligt expertgruppens uppfattning ligger användningen av biokol i linje med de mål, kriterier och principer som finns för ekologisk odling (EGTOP 2018).

2.4 Biokolsframställning genom pyrolys

Biokol framställs genom pyrolys av biomassa under kontrollerade förhållanden. Biokol tillverkas av olika växtmaterial som trä, halm, löv eller restprodukter från livsmedelsproduktion. Det är möjligt att tillverka biokol av animaliska produkter som gödsel och animaliska restprodukter samt matavfall t. ex. kommunal kompost (EGTOP 2018). Processtemperaturen vid pyrolys är 350 - 1000°C med begränsad tillgång till syre. Biokolet som tillverkas i denna process är rik på aromatiskt kol (C) och mineraler (European Biochar Certificate (EBC) 2012). Biokol framställs för olika ändamål, vilket inte medför snabb återgång till koldioxid genom förbränning, utan avser användning som jordförbättring för att biokolet skall lagras i marken och bli en koldioxidsänka (EBC 2012). Biokol är ett stabilt material som har en stor specifik yta samt hög katjonbytarkapacitet. De grundläggande faktorer som påverkar egenskaperna på biokolet är råmaterial, pyrolystemperatur och mängden biokol som appliceras (Ding, Liu, Liu, Huang, Li, TanZeng & Zhou 2017). Med ökad temperatur ökar koncentrationen av mikronäringsämnen och koncentrationen av kväve minskar, samt spårämnen koncentreras i biokolet (Hossain, YinChan, Ziolkowski & Nelson 2010).

2.5 Biokolets användningsområden

2.5.1 Jordförbättrande egenskaper

Biokol har visat sig ha flera positiva egenskaper när den grävs ner i odlingsjordar (Biederman & Harpole 2012). Omfattande studier visar på positiva effekter på åkrars produktivitet när biokol laddat med näring spridits på åkermarken (Lehmann & Joseph 2015). Biokolet bidrar till att växternas produktivitet ökar och läckaget av näringsämnen från jorden minskar. Samma resultat har uppnåtts i olika jordar med varierande klimat där biokolet bidragit till ökade skördar och produktivitet i form av mer växtlighet ovan jord. Mikroberna i jorden ökade, likaså de kvävefixerande bakterierna (rhizobium) och växterna fick även en högre vävnadskoncentration. Halterna av fosfor, kalium, kväve och kol (C) ökade i jorden jämfört med referensodlingar. Biokolet bidrog även till att markens pH-värde ökade, vilket gjorde jordarna mindre sura efter tillsats av biokol (Biederman & Harpole 2012). Biokol kan förbättra markstrukturen och dess vattenhållande egenskaper för att markpackningen minskas och markstrukturen förbättras när biokol tillförs jorden (Singh & Kumar 2017). Det beror på att biokolets fysiska egenskaper, då biokolet har hög

total porositet och kan hålla vatten i små porer och därmed öka den vattenhållande kapaciteten i jorden. Dessutom kan biokolet hjälpa till med infiltration av vatten genom större porer från markytan till jorden efter kraftigt regn (Ding, Y., Liu, Y., Liu, S. et al. 2016). Biokol kan öka katjonbyteskapaciteten med 20% och elektrisk ledningsförmåga med 125% samt reducera jordens surhet med 32% (Singh & Kumar 2017).

"Terra Preta"-jord är en kolrik jord som finns i Amazonas i Sydamerika. Den innehåller höga koncentrationer av näringsämnen kväve, fosfor, kalium och kalcium och stabil organisk jord. Denna jord finns i ett visst område i Amazonas och dessa jordar innehåller mer än 70% mer svart kol (C) än omgivande marker. Denna kol (C) är rester från ofullständig förbränning (pyrolys). *"Terra Preta"* är ett exempel på hur biokol kan vara en viktig del i bildandet av hållbara och bördiga jordar (Glaser, Haumaier, Guggenberger & Zech 2001).

Fosfor är en ändlig resurs som behövs för växtligheten på jordbruksmark. Därför är det viktigt att återanvända den fosfor som hamnar i grödorna för att jordbrukssystemet skall bli hållbart (DAI et al. 2016). Tillverkas biokol behålls fosforn och stabiliseras i biokolet. När det sedan applicerats i jordbruket möjliggör biokolets egenskaper att fosforn släpps ut långsamt och därmed blir en långvarig källa till fosfor för växterna. Förlusterna av fosfor som appliceras på åkrarna på traditionellt sätt blir högre och tiden fosforn är tillgänglig för växterna kortare än om biokol appliceras (DAI et al. 2016).

2.5.2 Stabiliserande egenskaper

Biokolets egenskaper innebär att det binder tungmetaller och organiska föroreningar vilket gör att det kan användas för att skydda grundvatten och grödor. Biokol har en förmåga att absorbera tungmetaller och minska biotillgängligheten och därmed minska förgiftningssymptom hos de växter som växer i förorenade massor (Lehmann & Joseph 2015). Biokol tar inte bort gifter från marken och därför är det inte en metod för kemisk marksanering, men kan stabilisera gifter som finns i jorden (EGTOP 2018). Ett nytt forskningsprojekt i Sverige undersöker nu hur förorenad jord kan stabiliseras med biokol för att ytterligare verifiera biokolets effekter (Statens Geologiska Institut (SGI) 2018).

2.5.3 Koldioxidsänka och minskade utsläpp

Biokol görs av organiskt material som under hela sin livstid bundit CO_2, och när biokolet appliceras i jorden bryts det ner långsamt vilket medför att CO_2 halten i atmosfären minskar (Biederman & Harpole 2012). Biokolet kommer finnas kvar där under lång tid, hundratals eller upp till tusentals år (EGTOP 2018). Kolet(C) låses i marken och fungerar som koldioxidlagring (Lehmann & Joseph 2015). Globalt släpps det ut ca 7,2 Gt kol (C)/år på grund av användning av fossila bränslen och cementproduktion (*Tabell 1*). 2,1 Gt kol (C)/år absorberas av havsekosystem och 1,0 Gt kol (C)/år av landekosystem. 4,1 Gt kol (C)/år återstår i atmosfären och bidrar till en förhöjning av koldioxidhalten i atmosfären. Om biokol tillverkas av 10% av världens biomassaproduktion, som är 60,6 Gt kol (C)/år och om 50% blev biokol och 30% energi skulle det ha potential att binda 4,8 Gt kol (C)/år, vilket är mer än vad som tillförs varje år (Singh & Kumar 2017)(Matovic 2010).

Tabell 1: Globala utsläpp av kol (C) samt potential att binda kol (C) i marken i form av biokol.

Globala utsläpp och upptag av kol (C)	**Gt kol(C)/år**
Globala utsläpp	7,2
Absorberas av havsekosystem	2,1
Absorberas av landekosystem	1,0
Återstår i atmosfären	**4,1**

Potential tillgänglighet på biomassa	**Gt kol(C)/år**
Världens biomassaproduktion/år (NPP)	60,6
Pyrolys av 10% av världens biomassaproduktion	6,06
Potential biokolsproduktion	**Gt kol(C)/år**
Antagande att 50 % av biomassan blir biokol	3,0
Kolförskjutning via brännbara produkter 60% (Resterande 40% används till att driva pyrolysprocessen).	1,8
Biokolets potential att binda kol (C) (om 50% blev biokol / 30% energi).	**4,8**

Dessutom har flertalet vetenskapliga artiklar om biokol sammanfattats och visat hur lustgas (N_2O) i jordbruket minskat med 38% i snitt när biokol använts (Schmidt 2018). Lustgasens uppvärmningseffekt är cirka 300 gånger större än den för koldioxid räknat per kilo utsläpp (Naturvårdsverket 2002).

2.6 Certifiering för hållbar biokolsframställning

Den europeiska biokolscertifieringen är en frivillig standard i Europa. Schweiz är ett föregångsland och tillåter enbart certifierad biokol från European Biochar Certificate (EBC) när den skall användas i jordbruket (EBC 2012). European Biochar Certificate (EBC) arbetar även för att etablera en standard för de produktionssteg vilka ingår för tillverkningen av biokol för att de produkter som når marknaden skall vara kvalitetssäkrade. Den frivilliga certifieringen innebär att produktionen följer de riktlinjer som anges för råvaran, processen och biokolets egenskaper. Det finns tre nivåer på certifieringen, Basic, Premium och om slutprodukten skall användas som fodertillsats. Nedan beskrivs relevanta krav i urval från EBC:s riktlinjer.

2.6.1 Krav på råvara

- Godkända organiska material som kan användas som råvara är listad med specifikationer. Avloppsslam är inte godkänd råvara.
- Råvaran måste vara fri från oorganiska föroreningar, målarfärg, lösningsmedel och plaster.
- Om biomassa odlas för att bli råvara för biokolsproduktion måste det ske på ett hållbart sätt. Kommer råvaran från skogen måste den ha hållbarhetscertifiering enligt FSC/PEFC eller likande för att vara godkänd.

- Skall biokolet användas som fodertillsats till boskap ställs ytterligare krav vilket inte behandlas inom studiens ramar.

2.6.2 Produktion (Pyrolys)

- Temperaturvariation under en batch max 20%.
- Biomassans sammansättning får inte variera mer än 15 %.
- Vid större variationer räknas det som en ny batch och nya prover måste tas. En produktionsserie är maximalt ett år.
- Pyrolysprocessen måste ske energieffektivt utan användning av fossila bränslen. Undantag görs för förvärmning av pyrolysreaktorn.
- Pyrolysgaserna som produceras måste återvinnas eller brännas de får inte släppas ut direkt i atmosfären. Förbränningen måste förhålla sig till nationella gränsvärden.
- Överskottsvärmen som genereras vid pyrolysprocessen måste tas till vara.

2.6.3 Biokolets egenskaper

- Biokolets kolhalt måste vara minst 50 % av torrmassan (DM). Lägre kolhalt klassas som pyrogeniskt kolhaltigt material (PCM).
- Förhållandet (i mol räknat) mellan väte/organiskt kol (C) måste vara mindre än 0.7 och mellan syre/organiskt kol (C) mindre än 0.4.
- Flyktiga organiska föreningar (VOC) är en viktig indikator på hur pyrolysprocessen fungerar och skall mätas.
- Näringsinnehåll med avseende på fosfor, kväve, magnesium, kalium och kalcium ska analyseras.
- Gränsvärden för innehåll av bly, kadmium, koppar, nickel, kvicksilver, zink, krom och arsenik finns beskrivet med olika gränser för basic- och premiumkvalitet.
- Biokolets pH-värde, bulkdensitet, vattenhållningskapaciteten samt biokolets specifika yta kontrolleras.
- Biokolets innehåll av polyaromatiska-kolväten skall ligga under 12 mg/kg torrmassa för basic-kvalitet och under 4 mg/kg torrmassa för premium-kvalitet.

  PCB-halt under 0,2 mg/kg torrvikt (DM). Dioxiner och furaner under 20 ng/kg (EBC 2012).

3. Metod och material

3.1 Litteratursökning

I de litteratursökningar som genomförts har Primo och Google Scholar använts. Sökorden: Biokol, Biochar, Pyrolys, Pyrolysis. Sedan har Biochar och Pyrolysis kombinerats med ytterligare ord för att specificera sökningen. Exempel: Structure, properties, uses, carbon storage, crop yield, waste management, energy production, cultivation, climate change. Information har även hämtats från International Biochar Initiative, The Biochar Journal och Ithaka Institute.

3.2 Datainsamling

Falu Energi och Vatten är det kommunala energibolaget i Falu kommun. Datainsamling har skett för att förstå deras verksamhet, samt de flöden som hanteras. Specifikationer på råvarorna har hämtats från Falu Energi och Vatten där energiinnehåll, innehåll av miljögifter, tungmetaller, fraktionernas storlek och egenskaper tagits fram. All data som hänvisas till Falu Energi och Vatten härstammar från kontinuerlig kommunikation med anställda på företaget under projektets gång. Kunskaperna om råvarornas egenskaper och mängd har analyserats för att kunna svara på vilka råvaror som kan användas för tillverkning av biokol.

För ökad kunskap om pyrolystekniken genomfördes studiebesök hos Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) och Skånefrö AB. De har båda investerat i Pyregs pyrolysanläggningar. Stockholm Vatten och Avfall framställer biokol genom pyrolys av trädgårdsavfall, vilket bland annat används i stadsodlingar. Skånefrö tillverkar biokol av rester från jordbruket, till exempel fröskal. De har båda bistått med data och lärdomar från respektive projekt och deras processutrustning (Pyreg 500 i Högdalen, respektive Pyreg 500 och Pyreg 1500 i Hammenhög). Dessutom har information inhämtats från Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR) som idag står inför val av utrustning för en biokolanläggning i Helsingborg. NSR:s biokolsatsning har 2018 beviljats medel från Klimatklivet (investeringsbidrag 50 %). Det finns ett stort antal tekniker för pyrolys, anpassade till olika behov och krav.

3.3 Avgränsningar

Detta är en teoretisk studie om inte innehåller några experimentella tester. Den valda metoden är att enbart studera pyrolys då det är en metod som finns tillgänglig idag. Tekniken är testad och det går att bygga nya driftsäkra anläggningar med den kringutrustning som krävs som torkningssteg, krossning, siktning. Samt att överskottsvärme och rökgaser kan tas omhand för tillverkning av el och fjärrvärme. Andra tekniker för ofullständig förbränning utreds därmed inte i denna rapport. Specifikationer, gränsvärden och godkända råvaror på Biokol har gjorts enligt certifiering från European Biochar Certificate (EBC). Begränsning har även gjorts genom att fokusera på endast två pyrolystillverkare (Pyreg och Biogreen) i denna rapport. I studien begränsas beskrivningarna/jämförelserna till endast två fabrikat på grund av att NSR ser dem som två möjliga tekniker att investera i. Detta medför att med andra tekniker kan resultatet se annorlunda ut. Råvaror som inte fungerar i Pyregs och Biogreens utrustningar kan fungera med annan pyrolysteknik.

Kontakt har skett med Falu kommun för att samla in kunskap om vilka användningsområden de ser för biokol i deras verksamhet. Användningsområden för biokol som berörs i denna rapport är som jordförbättring, klimatkompensation, stabilisering av tungmetaller och filtermaterial. Det finns ytterligare användningsområden för biokol som inte berörs i denna rapport. Exempelvis tillsats i djurfoder, inblandning i byggmaterial, biogasproduktion och för minskad lukt i djurstallar. Dessa områden belyses inte i denna rapport. Råvarorna på Falu Energi och Vatten har endast studerats i rena fraktioner således tar denna rapport inte upp hur blandningar av olika fraktioner kan fungera i pyrolysprocessen för framställning av biokol. Ekonomiska kalkyler för investeringar och drift av anläggningar har inte tagits fram i denna rapport.

4. Resultat

4.1 Lämpliga Råvaror för biokolsproduktion från Falu Energi och Vatten

De aktuella flödena för användning som råvaror till biokolsproduktion finns beskrivna nedan och i *Figur 1*.

Avloppsslam (Främby)

Största fraktionen är Avloppsslam (Främby) i snitt 2300 ton/år. Detta avloppsslam kommer från det största reningsverket i kommunen.

Avloppsslam (Övriga)

De övriga reningsverken levererar i snitt 950 ton/år. Dessa sju mindre reningsverk ligger i Vika Kyrkby, Enviken, Linghed, Boda, Sågmyra, Bjursås och Grycksbo.

Trädgårdsavfall (Kraftvärme)

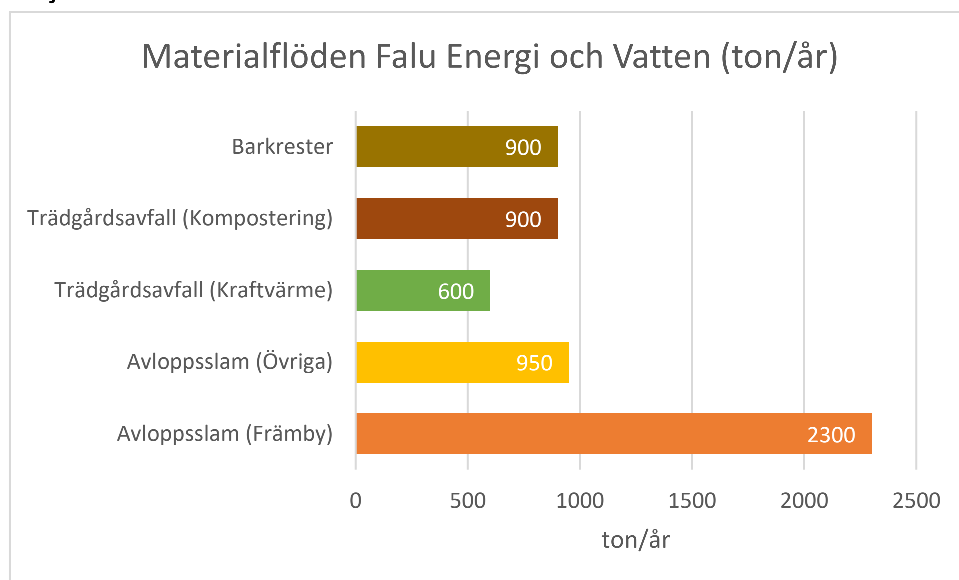
Trädgårdsavfall (Kraftvärme) används idag till kraftvärme och består mestadels av grenar och kvistar fraktionen är ca 600 ton/år. Största delen av fraktionen samlas in på återvinningen. Det lämnas in mest trädgårdsavfall mellan mars och oktober.

Trädgårdsavfall (Kompostering)

Trädgårdsavfall (Kompostering) är fuktigt och av sämre kvalitet med mestadels löv och används idag vid jordtillverkningen fraktionen är ca 900 ton/år. Majoriteten av trädgårdsavfallet lämnas in mellan mars och oktober.

Barkrester

Barkrester är en fraktion som idag blir täckmaterial eller kompost. Det är riven bark som krossas fraktionen innehåller en del sten och grus. Mängden barkrester som hanteras är ca 900 ton/år. Majoriteten av barken hanteras i verksamheten mellan oktober och mars (FEV 2019).



Figur 1: Material och mängder som kan vara aktuella för biokolsproduktion.

4.1.1Egenskaper för Falu Energi och Vattens råvaror

Specifikationerna från Pyreg och Biogreen innebär att samtliga fraktioner kräver någon typ av förbehandling för att kunna pyrolyseras. De olika förbehandlingarna som kan krävas är krossning, torkning och siktning (*Tabell 2*). Krossning innebär att materialet mekaniskt sönderdelas till godkänd partikelstorlek. Torkning innebär att materialet torkas innan pyrolysprocessen. För att produktionen skall bli så hållbar som möjligt bör spillvärme användas. Siktning är en metod för att sortera ut den storlek på partiklar som specifikationerna kräver. Värmevärden är specificerade enligt Bränslehandboken (Strömberg, Herstad Svärd 2012).

Tabell 2: Pyrolysutrustningens krav på råvara och tillgänglig råvaras egenskaper.

Egenskaper	**Partikelstorlek**	**Energiinnehåll**	**Torrhalt**
Krav på råvara	≥5µm Godkänd partikelstorlek ≤30mm	Värmevärde ≥10MJ/kg ts	Torrsubstans ≥50%
Avloppsslam (Främby)	≥5µm - ≤30mm	(Torkat slam) 10–13 MJ/kg ts	Ca 26%
Avloppsslam (Övriga)	≥5µm - ≤30mm	(Torkat slam) 10–13 MJ/kg ts	Ca 26%
Trädgårdsavfall (Kraftvärme)	>30mm	(GROT) 20,62 MJ/kg ts	Ca 50%
Trädgårdsavfall (Kompostering)	>30mm	(GROT) 20,62 MJ/kg ts	Ca 35% (uppskattat värde)
Barkrester	>30mm	(Torr bark) 17,8–19,8 MJ/kg ts	Ca 25%

Tabell 3 beskriver de förbehandlingssteg som råvarorna kräver innan pyrolys.

Tabell 3: Översiktlig beskrivning av förbehandlingskrav innan pyrolys. **X** *innebär att förbehandling krävs.*

Förbehandlingskrav	**Krossning**	**Torkning**	**Siktning**
Avloppsslam (Främby)		**X**	
Avloppsslam (Övriga)		**X**	
Trädgårdsavfall (Kraftvärme)	**X**		**X**
Trädgårdsavfall (Kompostering)	**X**	**X**	**X**
Barkrester	**X**	**X**	**X**

4.1.2 Metallinnehåll råvara Falu Energi och Vatten

För att godkännas enligt European Biochar Certificate skall tungmetallhalterna klara givna riktvärden. Dessa beskrivs nedan i *Tabell 4* för de olika råvarorna.

Avloppsslam (Främby)

Tre av värdena ligger utanför gränsvärdena för EBC-certifieringen. Det är kadmium, koppar och zink. Innehållet av zink är mer än 7,6 ggr för högt. Koppar är 5,9 ggr över maxvärdet och kadmium 2,4 ggr för högt.

Avloppsslam (Övriga)

Gränserna på koppar och zink ligger utanför godkända riktvärden.

Trädgårdsavfall (Kraftvärme/Kompostering)

Provsvar från specifik fraktion har inte tagits. Det förväntas att de provsvar som erhållits från GROT skall vara likvärdiga (FEV 2019). Dessa visar på att värdena för tungmetallinnehåll kan förväntas vara godkända.

Barkrester

Provsvar från specifik fraktion har inte tagits. Det förväntas att de provsvar som erhållits från Bark skall vara likvärdiga (FEV 2019). Dessa visar på att värdena för tungmetallinnehåll kan förväntas vara godkända.

Tabell 4: Gränsvärden från European Biochar Certificate på innehåll av tungmetaller.

Krav (EBC)-certifiering Basic-Tungmetaller (g/t DM)	**Avloppsslam (Främby)**	**Avloppsslam (Övriga)**	**Trädgårdsavfall (Kraftvärme/Kom-postering)** (provsvar GROT)	**Barkrester** (provsvar Bark)
Bly (Pb) <150	24	15	1,3	0,6
Kadmium (Cd) <1,5	3,6	1	0,23	0,3
Koppar (Cu) <100	590	183	3,5	3
Nickel (Ni) <50	13	11	3,5	2
Kvicksilver (Hg) <1	0,5	0	0,02	0,02
Zink (Zn) <400	3050	479	100	170
Krom (Cr) <90	19	17	6,5	2,5

I *Tabell 5* beskrivs en summering av resultatet av de råvaror som granskats i studien. Nedan återfinns de krav som ställs av processutrustning och certifiering enligt European Biochar Certificate.

Tabell 5: Summering av de olika krav som ställs av processutrustning och certifiering enligt European Biochar Certificate.

	Avloppsslam (Främby)	**Avloppsslam (Övriga)**	**Trädgårdsavfall (Kraftvärme)**	**Trädgårdsavfall (Kompostering)**	**Barkrester**
Pyrolysutrustningens krav på råvara	**Ja**	**Ja**	**Ja**	**Ja**	**Nej**
Tungmetaller	**Nej**	**Nej**	**Ja**	**Ja**	**Ja**
Ytterligare certifieringskrav	**Nej**	**Nej**	**Ja**	**Ja**	**Ja**
Totalt	**Nej**	**Nej**	**Ja**	**Ja**	**Nej**

4.2 Ändamålsenlig pyrolysteknik för Falu Energi och Vattens råvaror

4.2.1 Pyreg P1500

Pyreg är ett tyskt företag som tillverkar pyrolysreaktorer med en matningsskruv inne i pyrolysreaktorn. (Pyreg 2019). Pyreg har sålt ca 30 anläggningar (P500) som nu finns i drift i främst Tyskland med också övriga Europa. Pyrolysgaserna är inte i direkt kontakt med biomassan och biokolet i reaktorn vilket medför att biokolet inte kontamineras och är accepterat på marknaden. P1500 är en uppdaterad version där förbränningen av pyrolysgasen förbättrats. Pyreg P1500 säljs som ett ”Plug and Play”-system med

lågt energibehov. Svagheter med utrustningen är att det är en roterande skruv i ett varmt utrymme som kan bidra till materialutmattning. Temperaturen kan inte kontrolleras exakt för det finns ingen temperaturmätning inne i reaktorn. Däremot mäts temperaturen på pyrolysgasen efter reaktorn. När bark eller liknande används som råvara kan det bli pålagringar på reaktorväggarna, vilket medför att reaktorn måste rengöras relativt ofta. Därför är förbehandling viktigt för att uppnå ett stabilt processflöde (Intern rapport till NSR från Pamoja Cleantech, 2019).

4.2.2 BioGreen 750L8

Biogreen är ett franskt företag som tillverkar pyrolysutrustning med en intern elektriskt uppvärmd spiral. Biogreen har sålt sin ”Plug and Play”-lösning till ca 40 anläggningar runt om i världen (Biogreen 2019). Spiralen är flexibel som en fjäder vilket gör att skjuvkrafter undviks och därmed utmattas materialet inte lika snabbt. Temperaturen på spiralen kan justeras och därmed kan biokolets struktur anpassas med hög precision. Pyrolysprocessen är i sitt grundutförande bortkopplat från värmeregenerering vilket gör systemet enkelt och driftsäkert. Pyrolysgasen används inte till själva processen utan till att driva exempelvis en ånggenerator. Svagheter med utrustningen är att råvaran måste förtorkas och finfördelas till en partikelstorlek <ca 30 mm. Dessutom finns ett stort behov av elektricitet för uppvärmning av spiralen, vilket medför ett beroende av elpriset (Intern rapport till NSR från Pamoja Cleantech, 2019). En jämförelse mellan de två olika teknikerna beskrivs i *Tabell 6*.

Tabell 6: Systemparametrar för PYREG P1500 och Biogreen 750L8 (Intern rapport till NSR från Pamoja Cleantech 2019)

Systemparametrar	PYREG P1500	Biogreen 750L8
Flöde på biomassa	360 kg/h (träflis, fukthalt 12%)	700 kg/h (träflis, Fukthalt <10%)
Biokolsproduktion	100 kg/h (0% fukthalt) ekv. 25%	210 kg/h (0% fukthalt) ekv. 30%
	ca 750 t/år (7,500 driftstimmar)	ca 1500 t/år (7,500 driftstimmar)
Effekt Pyrolysgasen levererar till fjärrvärme/elproduktion	600kW	1200 kW
Bio olja	Nej	Ja
Extra input som krävs till processen	Ca. 20 kW el	Ca. 450 kW el
	Vattenkylning	Vattenkylning
Storlek	2*(l:12 x b:3 x h: 5,8) m container	2*(L:12 x b:3 x h:5,8m) container
Partikelstorlek	flis, pellets, skal, nötskal	flis, pellets, skal, nötskal

4.3 Biokolets potential att bidra till ekonomiska vinster

Marknaden för biokol är för närvarande obefintlig i många delar av världen. Biokolets värde i jordbruket särskilt med tanke på ökad avkastning bör motivera kostnaden för att använda biokol enligt (Draper 2016). I Sverige är marknaden för biokol är relativt outvecklad. Branchorganisationen Avfall Sverige har tagit fram material om marknaden för biokol i Sverige. Detta material är på grund av den outvecklade marknaden idag en bedömning där biokol antas kunna ersätta nuvarande applikationer och därigenom har betalningsviljan uppskattats för ett antal användningsområden. Den största marknaden för biokol i Sverige är idag som jordförbättringsmedel. Kunskapen om nyttorna med biokol är begränsade och det enda området där kunskapen bedöms som goda är när biokol används som jordförbättringsmedel.

Nuvarande politiska styrmedel skapar ingen betalningsvilja för biokol som kolsänka när ekonomiska incitament finns förändras marknaden snabbt (Avfall Sverige 2018).

Användning av biokol vid jordtillverkning

Betalningsviljan beräknas till att vara 2600–3000 kr/m³. Konkurrerande material är torv där priset är 70–250 kr/m³ vilket är betydligt billigare än biokol. Det finns osäkerhet kring prisbilden på torv på grund av dess miljöpåverkan. Införs det förbud mot torvbrytning kommer prisbilden ändras vilket blir till biokolets fördel (Avfall Sverige 2018).

Användning av biokol som växtnäring i lantbruket

Betalningsviljan hos de jordbrukare som tillfrågas i marknadsundersökningen som genomförts av Avfall Sverige är direkt kopplade till biokolets egenskaper. De vill ha en ekonomisk kalkyl samt tester i svenska jordbruk för att ta steget och testa biokol. De kan tänka sig att använda biokol i stor omfattning om prisbilden är upp till 3000 kr/ton (Avfall Sverige 2018).

Användning av biokol som filtermaterial

Det har inte gått att bedöma marknaden för biokol inom detta område. Där de använder aktivt kol idag bör en liknande betalningsvilja finnas för biokol med liknande egenskaper. Idag betalas 11 000–12 000 kr/m³ om det aktiva kolet är nytt, för regenererad produkt är priset 6000 kr/m³. I de anläggningar där biokol används är det pyrolyserat kokosnötskal som är råvara. Priser för biokolet säljs för är 6000 kr/m³ (Avfall Sverige 2018). I T*abell 7* beskrivs betalningsviljan från några utvalda marknader.

Tabell 7: Sammanfattning av uppskattad betalningsvilja för biokol (Avfall Sverige 2018).

Marknad för biokol	**Pris**
Användning av biokol vid jordtillverkning	2600–3000 kr/m³
Användning av biokol som växtnäring i lantbruket	3750 kr/m³
Användning av biokol som filtermaterial	6000–12 000 kr/m³

4.3.1 Biokolets potential att bidra till hållbarhetsvinster

Biokolspoduktion har potential att bidra till både nationella- och globala mål. Av de svenska miljömålen har en biokolsanläggning potential att bidra till uppfyllandet av mål: 1,2,3,4,7,8,9,10,11,12,13,15 och generationsmålet. Av de globala hållbarhetsmålen i Agenda 2030 har en biokolsanläggning potential att bidra till uppfyllandet av mål: 2,3,6,7,9,11,12,13,14,15,17. Detta medför att arbeta med biokolsanläggning innebär att arbeta med de globala och nationella hållbarhetsmålen i praktiken.

4.4 Resultatets osäkerheter

Specifikationerna från Pyreg och Biogreen innebär att samtliga fraktioner kräver någon typ av förbehandling för att kunna pyrolyseras. Dessa kan komma att ändras med teknikutveckling av pyrolystekniken. Eftersom det i denna studie inte ingår någon provtagning och analysering av prover finns det osäkerheter kring energiinnehåll för att dessa värden är hämtade från Bränslehandboken 2012

(Strömberg, Herstad Svärd 2012) och därför inte exakt de värden som de fraktionerna har. Partikelstorleken är uppskattade värden (FEV 2019), men osäkerheterna påverkar troligtvis inte resultatet i denna studie. Torrhalten på fraktionen Trädgårdsavfall (Kompostering) är uppskattat värde (FEV 2019) osäkerheterna påverkar troligtvis inte resultatet i denna studie. De flöden som är aktuella att titta på för att använda som råvaror till biokolsproduktion är Avloppsslam (Främby), Avloppsslam (Övriga), Trädgårdsavfall (Kraftvärme), Trädgårdsavfall (Kompostering) och Barkrester. Dessa mängder vägs och är därför troligt att de stämmer överens med de verkliga mängderna. Trädgårdsavfall (Kompostering) är en fraktion som inte vägs. Detta värde är därmed ett uppskattat värde därför finns viss osäkerhet på denna fraktionsstorlek.

För att godkännas enligt European Biochar Certificate skall tungmetallhalterna klara givna riktvärden. Resultaten från dessa provresultat har en osäkerhet på 25–30% (FEV 2019). Det innebär att värdena från Avloppsslam (Främby) kommer fortsatt att ligga utanför riktvärdena för kadmium, koppar och zink om denna osäkerhet räknas in. När osäkerhetsfaktorn räknas in på fraktionen Avloppsslam (Övriga) ligger fortsatt värdena för koppar utanför riktvärdena. Gränserna på zink ligger om maximal osäkerhet på rätt sida om maxvärdet och därmed på den godkända sidan. Detta påverkar dock inte resultaten för fraktionen är fortsatt inte godkänd för certifiering på grund av för hög halt av koppar. Det finns osäkerheter på fraktionerna Trädgårdsavfall (Kraftvärme) och Trädgårdsavfall (Kompostering) för att prover från de två olika fraktionerna inte tagits. Det förväntas att de provsvar som erhållits från GROT skall vara likvärdiga. Dessa värdena för tungmetallinnehåll ligger med marginal inom maxvärdena vilket kan förväntas gälla även fraktionerna Trädgårdsavfall (Kraftvärme och kompostering). Fraktionen Barkrester har osäkerheter på grund av att provsvar från specifik fraktion har inte tagits. Det förväntas att de provsvar som erhållits från Bark skall vara likvärdiga. Dessa visar på att värdena för tungmetallinnehåll kan förväntas vara godkända. Osäkerheter i resultatet som beskrivs ovan innebär att dessa resultat endast skall ses som vägvisande. Den största osäkerhetsfaktorn beror på att prover inte tagits på de fraktioner som är aktuella Trädgårdsavfall (Kraftvärme), Trädgårdsavfall (Kompostering) och Barkrester.

5. Diskussion

En biokolsanläggning har potential att bidra till uppfyllandet av flertalet av delmålen av de svenska miljömålen och Agenda 2030. Att arbeta med biokol kan bidra till Falu Energi och Vatten minskar koldioxidutsläpp från verksamheten och kan bidra till snabbare omställning mot netto noll utsläpp av växthusgaser. Dessa aspekter kan underlätta investeringsbeslut och möjliggöra ett konkret sätt att arbeta med hållbarhetsmålen för Falu kommun. De olika fraktioner som studerats i denna rapport måste studeras ytterligare innan det går att fastställa hur råvarorna fungerar i pyrolysutrustningen och vilken kvalitet på biokolet som kommer ut ur processen. Det är viktigt att råvaran är fri från gifter för att kunna tillverka ett högvärdigt biokol.

På grund av höga tungmetallhalter måste avloppsslammet deponeras när sluttäckningen av deras egen deponi är klar. Det kostar att deponera dessutom återvinns inte fosforn ur avloppsslammet vilket kan bli ett framtida krav. Det medför att en lösning för att undvika deponering och möjliggöra återföring av fosfor är viktig att lösa för Falu Energi och Vatten. En möjlighet i stället för att förbränna råvaran är att förädla den till ett annat användningsområde genom att tillverka biokol. Detta skulle medföra flera vinster för företaget både ekonomiskt och ur ett hållbarhetsperspektiv. Tekniker för utvinning av fosfor från biokol håller på att utvecklas och bör utvärderas ytterligare. Det bör utredas om biokol tillverkat av avloppsslam har stabiliserade egenskaper som kan användas uppströms trots innehåll av tungmetaller för att till exempel minska läckage från gruvavfallet in i avloppsvattnet. Detta kan bli en fortsättning på Faluprojektet där de genomförde flera åtgärder för att minska läckaget av tungmetaller från gruvavfallet. För att kunna bedöma var biokolet gör störst nytta för att minska läckaget av tungmetaller i Falun krävs ytterligare utredningar. Det forskningsprojekt som drivs av SGI skulle kunna hjälpa till att förstå Faluns utmaningar ytterligare. SGI:s projekt är nu igång och studerar hur biokol kan användas för att stabilisera förorenad jord för att skydda grundvatten och grödor genom att minska biotillgängligheten. Det kan även finnas ekonomiska incitament att använda avloppsslam som kolsänka trots höga tungmetallhalter i stället för kostsam slamhantering.

Det bedöms att biokolet som framställs av trädgårdsavfallet kan certifieras enligt European Biochar Certificate. Liknande fraktion används av (SVOA) idag och erfarenheter kan användas från deras biokolsprojekt. Denna biokol kan användas i stadsodlingar där det bör studeras vidare om dessutom sanden som använts för halkbekämpning kan nyttjas i Falu kommuns stadsodlingar. Användning som filter och i olika applikationer inom jordbruket bedöms vara möjliga men det kan också vara intressant att använda biokolet för att minska läckage av tungmetaller från gruvavfallet. Skulle biokol bli godkänt av krav finns mycket troligt inte tillräcklig produktion i förhållande till efterfrågan. Det skulle kunna bidra till en prisökning vilket innebär goda ekonomiska förutsättningar för de som kan tillverka godkänt biokol, men då gäller det att investera i processutrustning i tid för att ligga före konkurrenterna.

Det är möjligt att pyrolystekniker som inte tagits upp i detta arbete skulle kunna hantera fraktionen Bark bättre. Detta kräver dock vidare utredning. Det skulle vara fördelaktigt för Falu Energi och Vatten att ta hand om barken på ett bättre sätt än idag då användningsområdena är få. För att starta en

biokolssatsning i Falun behöver fortsatta steg tas i processen. En förundersökning behövs som utreder de fraktioner som är aktuella noggrannare. Kunskapsspridning och samarbete mellan politiken och de olika avdelningarna på Falu kommun samt inom Falu Energi och Vattens verksamhet för att öka förståelsen för hållbarhetsdimensionerna som biokolet kan bidra med. Kommunens gata/park-avdelning är viktig att involvera tidigt för deras potentiella användning av biokol kan bidra till avsättning av biokolet.

Det behöver fastställas vilka som kan driva pyrolysprocessen och dess kringutrustning i Falun. Fjärrvärmeproduktionen ligger närmast att driva en pyrolysanläggning för att de har kunskaper om höga temperaturer och säkerhet vid drift och underhåll av processutrustning med liknande egenskaper. Ökad råvarutillgång kan medföra storskalighetsfördelar vilket har potential att nås genom samarbete med närliggande kommuner. Dessutom bör det utvärderas om blandningar av olika råvaror fungerar och om det är önskvärt att blanda fraktionerna samt ytterligare jämförande mellan olika pyrolystekniker innan slutgiltigt val och dimensionering kan göras. Storlek för processutrustningen och vilka fraktioner som skall hanteras avgör vilken kringutrustning som krävs för förbehandling. Teknik för att möjliggöra hållbar förbehandling av råvaran genom krossning, siktning och torkning. Spillvärme från EcoDataCenter kan vara en möjlig väg för att torka råvara innan pyrolys. Ytterligare utmaningar som en biokolssatsning skulle medföra är placering av pyrolysutrustningen för att minska transportbehov och möjliggöra inkoppling på fjärrvärmenät och elnät. Dessutom måste miljötillstånd för att få bygga en pyrolysanläggning godkännas av ansvarig myndighet. När dessa delar utretts kan ekonomiska delar specificeras och bidragsansökan till exempel klimatklivet genomföras vilket anses vara en viktig grund för ett biokolsprojekt. Vidare behöver totala investeringar utredas för att kunna genomföra en biokolssatsning i Falun där livslängd på processutrustningen en viktig del som grund för investeringsbeslut. Byggnationen kommer medföra ytterligare delar där högst troligt tillkommer en byggnad till utrustningen och då krävs utvärdering av möjlighet till ett solcellstak som kan bidra till framställningen av förnybar energi. Ytterligare delar som tillkommer är grunden till bygget. Det medför olika möjligheter för tillverkning av en betongplatta där inblandning av restprodukter och aska bör utredas för att minska CO_2-utsläpp. Ytterligare delar som skall dimensioneras är värmeväxlare mot fjärrvärmen och ORC-system[2] för eventuell tillverkning av el. Hög automationsgrad av utrustningen är av intresse för att minska rörliga kostnader och säkerställa kontinuerlig drift.

Framtagande av en biokolsstrategi i kommunen är en viktig grund som bör tas fram för att kommunikation med invånarna i kommunen och även marknadsföring för kommunen ut i landet och världen. Detta bidrar även till en bättre hållbarhetsprofil i kommunen. Det bör skrivas in i styrande dokument om energi och klimat att arbete med att binda kol (C) i kommunen ska prioriteras för att skapa en långsiktighet i arbetet med miljö och klimat. Ett sätt att arbeta proaktivt med hållbara lösningar i jordbruket i kommunen är genom att börja arbeta med biokol. Detta bidrar till samhället genom att minskat näringsläckage från åkrarna samt ger ökade skördar. Detta gör att jordbruket kan klara längre perioder med torka bättre och även näringsläckaget blir inte lika omfattande vilket minskar belastningen

[2] Organisk Rankine-Cykel (ORC). Teknik för att omvandla lågvärdig värme till el.

på sjöar och älvar i Falu kommun. Utred även vidare hur biokol kan bidra till minskade problem med läckage från gruvavfallet. För att försäkra sig om att man investerar i rätt typ av utrustning bör utvecklingen för biokol som godkänt gödningsmedel inom ekologiskt jordbruk följas. Då nya krav kan börja gälla på pyrolysutrustning och råvara för att kunna certifiera biokolet. Det är en tydlig kommunikationsfördel att produkten är ekologisk då förståelsen och kunskapen om ekologiskt är allmänt kända.

Det planeras ett flertal anläggningar i Sverige idag. Erfarenheter och teknikutveckling kommer därför att öka i landet vilket medför att många arbetsmoment kan underlättas med bra kontakt med dem. Biokol skulle kunna innebära nya försäljningsmöjligheter för Falu Energi och Vatten. En ytterligare produkt kan utvecklas och specificeras efter kundbehov. Viss osäkerhet kring hårdare krav på metallinnehåll för att få tillföra biokolet till åkermark skulle kunna göra att de råvaror som studerats i denna rapport inte klarar de striktare kraven. Då blir andra applikationer av ytterligare vikt för avsättning i tex stadsodlingar och som filtermaterial. Att studera utvecklingen av de nya lagkraven bedöms vara en del som krävs för att inte råka ut för överraskningar i framtiden. Marknaden är framåtgående för biokol och bedöms kunna utvecklas de kommande 10 åren, men framtiden är fortfarande oviss. Nuvarande politiska styrmedel skapar ingen betalningsvilja för biokol som kolsänka. Om det däremot kommer incitament så kommer marknaden att förändras snabbt. Vidare arbete för avsättningen av biokolen i kommunen och närområdet måste utredas framförallt mot gata/park-förvaltningen i Falu kommun. En biokolsanläggning skulle kunna få invånarna i kommunen att medverka till koldioxidlagring när biokolet appliceras i hemmaodlingar. Då ges en känsla av att kunna medverka i omställningen. Framförallt bidrar en biokolssatsning i kommunen till tro och hopp vilket leder till kraftsamling i stället för klimatångest.

6. Slutsats

De rena fraktioner som det går att tillverka biokol av som kan godkännas i en certifiering enligt European Biochar Certificate är Trädgårdsavfall (Kraftvärme) och Trädgårdsavfall (Kompostering). Fraktionerna tillsammans är 1500 ton/år och kan förväntas ge 375–450 ton biokol/år (1388–1665 ton) CO_2 lagras därigenom och dessutom bidrar processen till fjärrvärmetillverkningen eller elproduktion.

Pyreg och Biogreens processtekniker ger båda ett biokol av god kvalitet. Exaktheten i styrningen processen i Biogreens teknik är fördel jämfört med Pyreg. Biogreens nackdel är att produktionen blir beroende av elpriset på grund av att matningsskruven värms upp av el. Behov finns av förbehandling av samtliga fraktioner som studerats i detta arbete för både Biogreen och Pyregs tekniker.

Biokol har potential att bidra till måluppfyllelse av de svenska miljömålen och Agenda 2030, vilket skulle vara en vinst ur ett hållbarhetsperspektiv för Falu Energi och Vatten. De största utmaningarna med ett biokolsprojekt skulle vara ekonomisk kortsiktighet. Dessutom är kunskapen om biokol inte spridd och accepterad i hela organisationen och i politiken. En för lång återbetalningstid medför att den enda troliga lösningen är att ansökningar om bidrag lyckas. Klimatförändringarna innebär redan nu mer extremt väder. Biokolets jordförbättrande egenskaper och näringshållande funktion kan förbättra förutsättningarna i jordbruket och är en möjlighet att börja agera konkret mot klimatförändringarna.

7. Källor

Avfall Sverige (2018) *Marknaden för Biokol i Sverige.* Avfall Sveriges utvecklingssatsning ISSN1103 -4092 Rapport 2018:14 https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/rapporter/rapportera/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=2583&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=68ee39223998ccc35409d625c9eaf41a [2019-04-15]

Bernes, C. & Lundgren, L. (2009) *Bruk och missbruk av naturens resurser*. [Monitor 21] Värnamo: Fälth & Hässler.

Biederman, L. & Harpole, S. (2012) *Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis.* Iowa State University, 251 Bessey Hall, Ames, IA, 50011, USA https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12037 [2019-04-20]

Biogreen (2019) Biogreen 2019 PYROSLUDGE-Patented technologies SLUDGE DRYING & PYROLYSIS Complete solution for sewage sludge valorization into syngas and biochar. http://www.biogreen-energy.com/wp-content/uploads/2016/12/pyroSLUDGE-a3-brochure_@.pdf [2019-05-01]

DAI, L. LI, H. TAN, F. ZHU, N. HE, M. HU, G. (2016) *Biochar: a potential route for recycling of phosphorus in agricultural residues* (2016) GCB Bioenergy (2016) 8, 852–858, doi: 10.1111/gcbb.12365 https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12365 [2019-04-11]

Ding Y, Liu Y G, Liu S B, Huang X X, Li Z W, Tan X F, Zeng G M, Zhou L. (2017). *Potential benefits of biochar in agricultural soils: A review. Pedosphere*. **27**(4): 645–661. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016017603758 [2019-04-10]

Ding, Y. Liu, Y. Liu, S. Li, Z. Tan, X. Huang, X. Zeng, G. Zhou, L. Zheng, B. (2016) *Biochar to improve soil fertility. A review* 36: 36. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z [2019-05-01]

Draper K: *The Biochar Displacement Strategy*,the Biochar Journal (2016), Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114 www.biochar-journal.org/en/ct/85 Version of 27 th November 2016 [2019-04-20]

EcoDataCenter (2019) *Maximalt utnyttjande av använd energi -Återanvändning av värme för det omgivande energi-ekosystemet.* https://ecodatacenter.se/ere/ [2019-04-10]

European Biochar Foundation (EBC) (2012) *European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.* Arbaz, Switzerland.

http://www.europeanbiochar.org/en/download . Version 8.1E of 4th April 2019, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043 [2019-04-02]

European Biochar Foundation (EBC) (2013) *Positive list of biomasse feedstock approved for use in producing biochar.* [*Version: 1 October 2013*] http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/feedstock.pdf [2019-05-01]

Expert Group for Technical Advice on Organic Production (EGTOP) (2018) *Final Report on fertilisers (III)* https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/final-report-egtop-fertilizers-iii_en.pdf [2019-04-25]

Falu kommun (2018) *Metaller i mark och vatten* https://www.falun.se/bygga-bo--miljo/metaller-i-mark-och-vatten.html [2019-04-02]

Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. & Zech, W. (2001) *The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics.* https://link.springer.com/article/10.1007/s001140000193#aboutcontent [2019-04-14]

Hanæus, Å. Ledin, B. (2010) *Efterbehandling av gruvavfall i Falun 1992–2008 Sammanfattande slutrapport för Faluprojektet.* Naturvårdsverket Rapport 6398 http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6398-6.pdf?pid=3705 [2019-04-14]

Hossain, M. YinChan, V. Ziolkowski, A. & Nelson, P. (2010). *Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710002938 [2019-04-14]

Jordbruksverket (2018) *Andra gödselmedel* https://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/jordbruksgrodor/vete/vaxtnaring/andragodselmedel.4.32b12c7f12940112a7c800020983.html [2019-04-15]

Lehmann, J. Joseph, S. (2015) *Biochar for Environmental Management -Science Technology and Implementation.* [2: nd Edition] Earthscan from Routledge London

Länsstyrelsen Dalarna (2013) *Jordbrukets klimatpåverkan – globala utsläpp och lokala åtgärder* Rapport 2013:8 https://www.lansstyrelsen.se/download/18.4df86bcd164893b7cd92d3f8/1534490023823/2013-08%20Jordbrukets%20klimatpåverkan%20–%20globala%20utsläpp%20och%20lokala%20åtgärder.pdf [2019-04-10]

Matovic, D (2010) *Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective* Energy 36.4 (2011): 2011-016. Web.https://mitt-primo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-

explore/fulldisplay?docid=TN_sciversesciencedirect_elsevierS0360-5442(10)00510-4&context=PC&vid=MIUN&search_scope=all&tab=default_tab&lang=sv_SE [2019-05-22]

Naturvårdsverket (2016) *Tabell över generella riktvärden för förorenad mark.* http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/fororenade-omraden/berakning-riktvarden/generella-riktvarden-20160707.pdf [2019-05-10]

Naturvårdsverket (2002) *Utsläpp av ammoniak och lustgas från förbränningsanläggningar med SNCR/SCR.*https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/91-620-8089-X.pdf?pid=3879 [2019-05-10]

Pamoja Cleantech (2019) *A solution for soil fertility and CO_2- sequestration.* opublicerade data [Framtaget för Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR)] [2019-05-13]

Pyreg (2019) *Pyreg carbon technology solutions* https://www.pyreg.de/?lang=en [2019-04-27]

Regeringskansliet Näringsdepartementet (2016/17) *En livsmedelsstrategi för Sverige -Fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet.* Kortversion av regeringens proposition 2016/17:104 https://www.regeringen.se/4908a0/contentassets/89c5b3e5d23f473d843d12f12379d07b/livsmedelsstrategin_kortversion_170130.pdf

Riksskogstaxeringen (2015) *Statistik från Riksskogstaxeringen 2015*, [Tabell 1.4 - Landarealen efter År (Femårsmedelvärde), Län, Tabellinnehåll och Ägoslag.] http://skogsstatistik.slu.se/pxweb/sv/OffStat/OffStat__AllMark__Areal/AM_Areal_ägoslag_trad_tab.px/table/tableViewLayout2/?rxid=ffdef642-ad78-46db-add5-4b32edc3029b [2019-04-10]

Schmidt, HP. (2018) *Biochar and PyCCS included as negative emission technology by the IPCC*, The Biochar Journal, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297–1114 www.biochar-journal.org/en/ct/94 [2019-04-19]

SFS 1998:808 i lydelse enligt SFS 2018:1862. Miljöbalk. Stockholm: Miljö- och energidepartementet https://www.lagen.nu/1998:808 [2019-04-20]

Singh, R. Kumar, S. (2017) *Green Technologies and Environmental Sustainability* ISBN 978-3-319-50654-8 Springer International Publishing AG 2017 Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland https://link-springer-com.www.bibproxy.du.se/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-50654-8.pdf [2019-04-20]

Statens Geologiska Institut (2018) *SGI leder forskningsuppdrag om biokol i jorden.* http://www.swedgeo.se/sv/om-sgi/pressrum/aktuellt/sgi-leder-forskningsuppdrag-om-biokol/ [2019-05-01]

Strömberg, B. Herstad Svärd, S. (2012) *Bränslehandboken* [Värmeforsk A08-819] https://docplayer.se/1503296-Branslehandboken-2012.html [2019-05-04]

Stern, N. (2007) *The Economics of Climate Change -The Stern Review.* http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf [2019-04-05]

Svenskt vatten (2018) *Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering.* Bromma: Svenskt vatten http://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstromsarbete/revaq-certifiering/ [2019-04-28]

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)(2018) *Global warming of 1.5°C -An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty Summary for Policymakers* (2018) https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf [2019-04-02]

von Bahr, B. Kärrman, E. Lundin, E. & Rodhe, L (2017) *Fosfor från avloppsslam i en cirkulär ekonomi.* Projektnummer: 42539–1 Malmö: VA SYD https://resource-sip.se/content/uploads/2017/12/42539-1-slutrapport-fosfor-fran-avloppsslam.pdf [2019-04-10]